

шифр "Низькотоксичний дизель"

**ЗМЕНШЕННЯ ТОКСИЧНИХ ВИКИДІВ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРІВ ЗА
РАХУНОК ЗМІНИ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАЛИВНОЇ
АПАРАТУРИ**

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Актуальність проблеми.....	5
2. Новизна та оригінальність ідей.....	12
3. Використані методи дослідження.....	14
4. Теоретичні наукові результати	17
Висновки	22
Список використаних літературних джерел	23
Додатки.....	25

ВСТУП

На сьогоднішній день поршневий двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) комплектується системами подачі та контролю палива з електронним керуванням, подачі повітря наддувом, зміною фаз газорозподілу та ін. Тому під програмне комп'ютерне керування електронікою віддані найважливіші процеси при експлуатації ДВЗ.

Також введення норм ІМО Tier III в 2016 р. вимагає зниження викидів оксидів азоту (NO_x) з відхідними газами суднових ДВЗ більш ніж на 75 % у порівнянні попередніми нормами шкідливих викидів згідно вимог ІМО рівня ТII. Для досягнення зменшення шкідливих викидів для суднових ДВЗ можливо лише за рахунок застосування новітніх технологій в області поліпшення властивостей палива, принципу подачі палива та повітря до камери згорання.

У роботі розглядається використання електронної комп'ютерної системи керування процесом подачі палива в камеру згорання з можливістю гнучкого керування даного процесу з дотриманням зазначених міжнародних норм.

Показано, що необхідний рівень тиску і необхідні характеристики впорскування можуть бути забезпечені сучасними системами з електронним керуванням типу Common Rail (CR). Впровадження подібних систем як одного із способів підвищення екологічної безпеки та покращення паливної економічності суднових дизель-генераторів, що викликані жорсткими екологічними та економічними вимогами до ДВЗ, що використовуються на судах.

Ступінь самостійності роботи. Авторами даної роботи був проведений аналіз та знайдені резерви для підвищення екологічних показників та зменшення викидів токсичних речовин відхідних газів дизель-генераторів контейнеровоза при використанні системи CR з електронним керуванням робочого процесу.

Апробація результатів дослідження. Основні результати наукової роботи доповідались авторами на:

- IX Міжнародній науково-технічній конференції "Суднова енергетика: стан та проблеми", 07–08 листопада 2019 р., м. Миколаїв;

- VI Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасний стан та проблеми двигунобудування", присвяченої 150-літтю від дня народження Некрасова Івана Степановича, 26–27 листопада 2020 р., м. Миколаїв;

- V International Scientific and Practical Conference "Science and education: problems, prospects and innovations", 4–6 February 2021 р., Kyoto, Japan.

Наукові публікації. Основні наукові та практичні результати студентської наукової роботи доповідалися й одержали позитивну оцінку.

1. Вплив вмісту сірки в паливі на робочий процес та технічний стан дизель-генератора / // Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2019. – С. 188–192.

2. Контролювання параметрів електронної системи керування подачі палива для зменшення токсичних викидів відхідних газів ДВЗ / *I.В. Калініченко, I.М. Бірюков, С.І. Шмаков,* // Сучасний стан та проблеми двигунобудування Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 150-літтю від дня народження Некрасова Івана Степановича. – Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2020. – С. 137–143.

3. Покращення екологічних показників двигунів внутрішнього згоряння за рахунок магнітної обробки палива / , // Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2019. – С. 173–175.

4. Use of Electronic Fuel Supply Control System to Reduce Toxic Emissions in Exhaust Gases /

// Science and education: problems, prospects and innovations. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference (February 4-6, 2021). – CPN Publishing Group, Kyoto, Japan, 2021. – Pp. 118-121.

1. Актуальність проблеми

Удосконалення та впровадження в конструкцію електронних систем керування процесами є найдинамічнішим напрямком в світовому двигунобудуванні. Сучасний судновий поршневий дизельний двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) неможливо уявити без електронно-керованих систем подачі палива, зміни фаз газорозподілу, наддуву, скорочення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) в докілья, утилізації та ін. Тому під програмне комп'ютерне керування електронікою віддані найважливіші процеси при експлуатації ДВЗ.

Сучасні двигунобудівні компанії все більше змушені звертати увагу при новітніх розробках на сучасні вимоги екологічної безпеки та паливної економічності при розробках та виготовленні своєї продукції. Постійне зростання вимог, що стосуються екологічних та економічних показників змушує світових виробників суднових ДВЗ забезпечувати ці вимоги для своєї продукції, незважаючи на можливі збільшення вартості продукції та розмірів і ваги виготовлених агрегатів. Ця проблема описується в матеріалах 28 конгресу СИМАК, яка проводилася в Гельсінкі у червні 2016 р. Розробки в області досягнення високих екологічних параметрів сучасних двигунів ініційовані цілим рядом нормативних документів, таких як ЕРА Tier 4, EU Stage 4 та ін. [1].

Також у зв'язку з введенням контролю Міжнародної морської організації (ІМО) вимог Tier III до суднових ДВЗ було прискорено розвиток і впровадження технологій для зменшення шкідливих та токсичних викидів у докілья з відпрацьованими газами суднових дизелів [2].

Регулювання вимог Tier III з 2013 р передбачало зменшення:

- із 2013 р. парникових газів з врахуванням індексу енергоефективності - Energy Efficiency Design Index (EEDI);
- із 2015 р. оксидів сірки на територіях дії SECA (SO_x Emission Control Areas);

- із 2016 р. оксидів азоту на територіях дії NECA (NO_x Emission Control Areas);

- викидів твердих частинок.

Перебуваючи під жорстким пресом регулювання і контролю викидів шкідливих речовин, виробники двигунів і постачальники комплектуючих виробів і систем змушені вживати відповідні заходи по досягненню вимог екологічних стандартів своєю продукцією. На основі аналізу діяльності основних виробників в даній області виділяється ряд основних напрямків вдосконалення конструкції двигунів для забезпечення екологічних параметрів, з яких найважливішими є [3]:

- вдосконалення протікання внутріциліндрових процесів, включаючи точне автоматичне керування процесом згоряння-тепловиділення за допомогою формування необхідного закону подачі палива і забезпечення спеціальних умов протікання процесів згоряння в камері згоряння;

- розвиток конструкцій периферійних пристроїв і технологій для очищення відпрацьованих газів.

На теперішній час за допомогою системи електронного керування процесу подачі палива можливо вирішити проблеми, пов'язані з одержанням високих техніко-економічних показників сучасних дизельних установок. Процес подачі палива, а також процес газорозподілу сучасного дизеля визначає екологічну ефективність та економічність роботи ДВЗ, контролюючи характер та процес протікання теплового навантаження в циліндрах сучасного двигуна таким чином підвищуючи ефективність його роботи. Можливості керування цими процесами збільшуються завдяки впровадженню інтелектуальних мікропроцесорних комп'ютерних систем керування та акумуляторних систем подачі палива ДВЗ Common Rail (CR), що експлуатуються як головні суднові двигуни. Можливості CR, крім формування законів точного керування при змінних та періодичних процесах в ДВЗ, дають можливість застосовувати самонастроювання (адаптацію) систем до випадкових та змінних режимів роботи, забезпечити при цьому системою самодіагностики, при використанні

елементів аналізу видів відмов та подальших наслідків Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) [1].

Найбільш важливим предметом регулювання, що в основному визначає всі параметри двигуна, є система подачі палива. Традиційно закони подачі палива визначалися конструкцією паливного насоса високого тиску (ПНВТ), форсунки і профілем кулачка вала ПНВТ. Однак таке керування упорскуванням має дуже обмежені можливості. Використання швидкодіючих електронно-керованих гідравлічно розвантажених клапанів в системі високого тиску палива дозволили, починаючи з 1990-х р., кардинально змінити ситуацію на краще. Безсумнівне лідерство у виробництві електронно-керованих систем подачі палива належить фірмі "Bosch", яка створила ПНВТ розподільного типу VP 44 з електронним керуванням впорскування і в 1996 р. запустила його в масове виробництво. ПНВТ такого типу дозволив розвивати тиск палива до 90 МПа і забезпечувати високу динаміку узгодження дозування циклової подачі палива в кожному окремому циклі, а також можливість незалежного вибору моменту початку подачі палива від ходу плунжера. Однак не досконалість законів подачі, що неминуче виникають в паливних магістралях високого тиску, не дозволили повною мірою реалізовувати можливості такого технічного рішення. Частково ці проблеми вирішувалися шляхом використання електронно-керованих насос-форсунок, здатних розвивати більш високі значення тиску упорскування (в перспективі до 205 МПа) зі збереженням всіх перерахованих переваг системи з електронно-керованим насосом розподільного типу. Але створення імпульсу такого високого тиску було пов'язано з навантаженнями на кулачок і розподільний вал, які провокували високий знос механізму. При цьому в обох випадках на формування закону тиску подачі палива накладався відбиток характеру руху плунжера, який визначається профілем кулачка [1, 4].

Розділити функції створення тиску палива і виробництва упорскування палива в циліндр дозволяє акумуляторна система із загальною паливною магістраллю високого тиску – система "Common Rail" (CR). В системі CR тиск палива в акумуляторі (паливній рампі) створюється незалежно від частоти

обертання колінчастого вала двигуна і кількості палива, що впорскується і може бути задано у всьому робочому діапазоні відповідно до вимог керування робочим процесом. Тиск в системі постійно створюється ПНВТ, звільненому від розподільчої функції і працюючі при низьких значеннях крутного моменту на приводному валу. Регулювання значень тиску проводиться окремим імпульсним клапаном регулювання тиску, що знаходиться під контролем електронного блоку керування. У системах першого покоління тиск в рампі не перевищував 135 МПа, а вдосконалена система упорскування другого покоління, прийнята до масового виробництва з 2001 р. розвивала тиск до 160 МПа. Первинно система CR була розроблена і серійно застосована для високотехнологічних двигунів автотранспортного призначення малої розмірності з циліндричної потужністю від 10 до 50 кВт при 1800...2700 хв⁻¹. Малі циклові подачі палива (близько 0,1 г/цикл) в дизельних ДВЗ такого типу не висувають особливих вимог до обсягу системи акумулятора, оскільки не здатні викликати відчутних пульсацій тиску палива в рампі. Разом з тим, відносно малий обсяг акумулятора дозволяє виготовляти його з доступних і недорогих матеріалів [5].

Підвищення тиску подачі палива здатне збільшити дисперсність розпилювання палива, кут розкриття паливного факела і, в результаті, дозволяє більш повно використовувати свіжий заряд циліндра в процесі згоряння. Ці явища сприяють скороченню емісії незгорілих вуглеводнів, сажі та оксидів азоту з відпрацьованими газами сучасних дизельних двигунів. Тому основні виробники систем CR виявляють тенденцію до постійного зростання тиску в системі (рис. 1).

Перевірка і зміцнення паливної рампи проводилися під дією вибуху зі створенням граничного тиску в обсязі акумулятора до 360 МПа. Закон подачі палива в акумуляторній системі CR формується як за рахунок створюваного тиску в рампі, так і за рахунок сумарної тривалості багаторазового відкриття форсунки, яка, в свою чергу, ініціюється за допомогою багаторазової активації швидкодіючого електронно-керованого гідравлічного клапана форсунки.

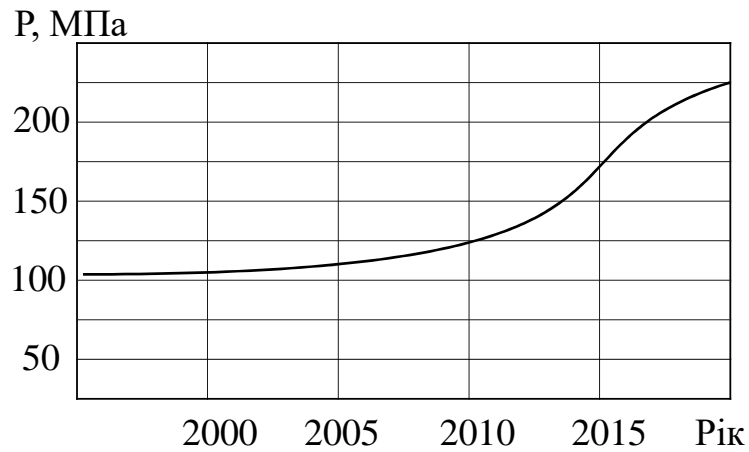


Рисунок 1. Тенденція зміни тиску впорскування палива в системах CR

Це вигідно відрізняє "Common Rail" від існуючих традиційних схем подачі палива. Разом з тим, система CR вельми вдало вписується в традиційну конструкцію двигуна і загальну структуру електронного керування, а постійний розвиток і вдосконалення властивостей матеріалів, технологій, мікропроцесорної техніки та програмного забезпечення дозволяє все ширше розкривати її потенціал. Такі суттєві переваги електронно-керованої акумуляторної системи CR зумовлюють її розгляд як найбільш перспективної системи подачі палива.

Подальший розвиток системи CR відбувається одночасно в декількох напрямках. Найбільшу увагу розробників приділяється вдосконаленню конструкції системи. При цьому такі напрямки, як [6, 7]:

- теоретичні розробки в галузі керування робочими процесами двигуна з системою CR;
- створення програмного і апаратного забезпечення;
- використання нових зносостійких матеріалів в конструкції, також є важливими для досягнення високих експлуатаційних характеристик двигунів, оснащених акумуляторною електронно-керованою системою CR.

Незважаючи на те, що всі ці напрямки тісно взаємопов'язані між собою, окремий їх розгляд дозволяє виявити найважливіші шляхи вдосконалення системи. Прикладами реалізації служать розробки фірм "Bosch", "Caterpillar Motoren GmbH", "HEINZMANN", "Duap AG", "DENSO" і ін. [4, 5, 8, 9].

Для формування завдання зниження викидів токсичних речовин на основі експериментальних досліджень, розробки математичних моделей і алгоритмів комплексу науково-обґрунтованих технічних рішень, спрямованих на зниження токсичності відпрацьованих газів судових дизельних двигунів і приведення їх у відповідність з введеними нормами Конвенції МАРПОЛ 73/78 за допомогою настройки регулювальних параметрів з урахуванням безперервного контролю концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах, а також експлуатаційних параметрів дизель-генераторів виробництва компаній «MAN Diesel & Turbo» в широкому діапазоні зміни їх навантажень необхідно вирішувати наступні завдання.

1. Аналіз експлуатаційних режимів судових дизельних двигунів, що впливають на їх екологічну безпеку, а також заходів і технологічних рішень, що дозволяють здійснювати контроль в судових умовах токсичність відпрацьованих газів двигунів.

2. Експериментальне дослідження в судових умовах і накопичення даних по токсичності відпрацьованих газів судових дизельних двигунів в умовах зміни їх навантаження.

3. Розробка на основі експериментальних досліджень кількісного складу шкідливих компонентів відпрацьованих газів двигунів математичних моделей, що дозволяють оцінювати вплив на величину питомих викидів оксидів азоту навантаження і регулювальних параметрів судових дизельних двигунів компанії «MAN Diesel & Turbo».

4. Розробка на основі моделювання робочих процесів судового дизельного двигуна математичних моделей, що дозволяють оцінювати вплив на величину питомих викидів оксидів азоту наступних регулювальних параметрів двигуна: ступеня стиснення, кута випередження і тривалість уприскування палива при різних значеннях частоти обертання колінчастого вала дизеля.

5. Розробка з використанням отриманих математичних моделей для оцінки впливу експлуатаційних режимів і регулювальних параметрів судових дизельних двигунів алгоритмів розв'язання задач виконання вимог Tier 2 і Tier 3

Додатка VI Конвенції MARPOL-73/78 по викидах діоксиду азоту з відпрацьованими газами в повітряне середовище.

6. Розробка технологічних рішень, а також суднової системи безперервного моніторингу складу відпрацьованих газів суднового дизельного двигуна, що дозволяють здійснювати безперервний контроль концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна і вирішувати завдання зниження їх токсичності.

Зібрані дані по токсичності відпрацьованих газів суднових дизельних двигунів при зміні їх навантаження дозволяють розробляти організаційні заходи та технологічні рішення, спрямовані на зниження вмісту шкідливих речовин у продуктах згоряння суднових палив. Отримані математичні моделі для оцінки параметрів і концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах суднових дизельних двигунів можуть використовуватися в системах моніторингу екологічної безпеки судноплавних компаній, в організаціях займаються проектуванням дизельних установок, в навчальних процесах морських вузів. Запропонована суднова система лазерного моніторингу дозволяє здійснювати безперервний контроль концентрації шкідливих речовин в продуктах згоряння палива, вирішувати завдання безперервного моніторингу екологічної безпеки об'єктів водного транспорту судноплавних компаній.

Відомо, що розроблені способи зниження викидів токсичних компонентів відпрацьованих газів поділяють на первинні та вторинні. Первинні методи пов'язані з організацією процесів сумішоутворення і згоряння, вдосконалення системи упорскування палива, а так само використанням альтернативних видів палива. До вторинних методів належать: рециркуляція відпрацьованих газів, каталітична очистка відпрацьованих газів і ін. Таким чином, розробка заходів по зменшенню токсичності відпрацьованих газів дизелів може проводитися за такими основними напрямками: вдосконалення конструкції двигуна, облік експлуатаційних факторів з коригуванням регулювальних параметрів дизельного двигуна, застосування альтернативних видів палива.

2. Новизна та оригінальність ідей

На теперішній час вимоги, що висуваються до судових ДВЗ щодо впливу на забруднення навколишнього середовища токсичними та шкідливими речовинами мотивують двигунобудівні компанії та їх дослідників і конструкторів знаходити нові способи зменшення кількості шкідливих та токсичних викидів в атмосферу з відхідними газами дизелів.

Шкідливими речовинами, що скидаються з відпрацьованими газами сучасних судових ДВЗ є монооксид вуглецю (CO), вуглеводні (CH), оксиди сірки та тверді частинки, такі як, важкі вуглеводні, оксиди сірки CO₂ та сажа, а також токсичні - оксиди азоту (NO_x). На теперішній час нормують лише викиди CH, CO та NO_x у вихлопних газах ДВЗ та контролюють їх димність.

Одним із сучасних способів зменшення шкідливих та токсичних викидів судовими ДВЗ є вдосконалення апаратури для паливопідготовки, а саме використання форсунок з електрогідравлічним керуванням та акумуляторних системи подачі палива. Так, згідно розробок фірми "MAN Diesel & Turbo" в даній області кроки щодо підвищення ефективності роботи системи CRS2.2 для роботи на високов'язкому паливі типу HFO давно відома [5] і системи CR експлуатуються протягом декількох років на судових малообертових двохтактних двигунах, що використовуються на судах як головні двигуни (ГД) [10, 11], але варіант використання системи CR в дизель-генераторах (ДГ) при змінному тиску подачі палива для підвищення їх екологічних показників у складі судової енергетичної установки (СЕУ) контейнеровозів не розглядався.

В даній роботі запропоновано визначити можливість зниження токсичних викидів з відхідними газами дизель-генераторів у складі судової електростанції (СЕС) контейнеровоза за рахунок контрольованого процесу подачі палива при використанні електронної системи CRS2.2. Тому для визначення можливості зниження токсичних викидів дизель-генераторів на контейнеровозах при використанні системи CR фірми "Robert Bosch GmbH" було розглянуто навантаження СЕС контейнеровозу "Cape Akritas".

На даному судні (ІМО №9706190) як ГД використовується малообертовий двохтактний дизель фірми "MAN" типу 8G95ME-C9.5TP, номінальна потужність якого складає 54960 кВт при витраті умовного пального до 166 г/(кВт·год), і частоті обертання до 80 хв⁻¹. У складі СЕС використовуються 4 ДГ фірми "Hyundai", два з яких типу 9H32/40 мають механічну потужність 4500 кВт, а два ДГ типу 8H32/40 мають потужність до 4000 кВт при витраті високов'язкого палива до 190 г/(кВт·год) з частотою обертання 720 хв⁻¹. Максимальне механічне навантаження на СЕС в ходовому режимі судна з врахуванням роботи рефрижераторних контейнерів становить до 7500...8000 кВт [12 – 16] з одночасною роботою до 3-х ДГ.

Новизна та оригінальність ідей наукової роботи наступні:

- знайдено резерви для підвищення екологічних показників дизель-генераторів контейнеровоза при використанні системи CR з електронним керуванням робочого процесу;

- виявлено залежності зміни тиску впорскування палива від 160 до 220 МПа з використанням системи CR з електронним керуванням робочого процесу на скорочення споживання палива дизель-генератора контейнеровоза до 4,0...4,6 % при навантаженні дизель-генератора на 50...75 %;

- виявлено залежності зміни тиску впорскування палива від 160 до 220 МПа з використанням системи CR з електронним керуванням робочого процесу, яка зменшує концентрацію токсичних речовин NOx на 9...12 % та димність на 8...10% у відхідних газах дизель-генератора при навантаженні на 50...75 %.

3. Використані методи дослідження

У даній роботі застосовані прикладні методи наукового дослідження, який складається з поетапних процесів ознайомлення та вивчення проблеми, експерименту, та перевірки теорії та отриманих даних для подальшого одержання наукових знань.

Для проведення експерименту на ДГ контейнеровоза "Саре Akritis" була встановлена установка CR з електронним блоком керування "Bosch" фірми "MAN" з системою електронного керування робочим процесом (рис. 2) [4].

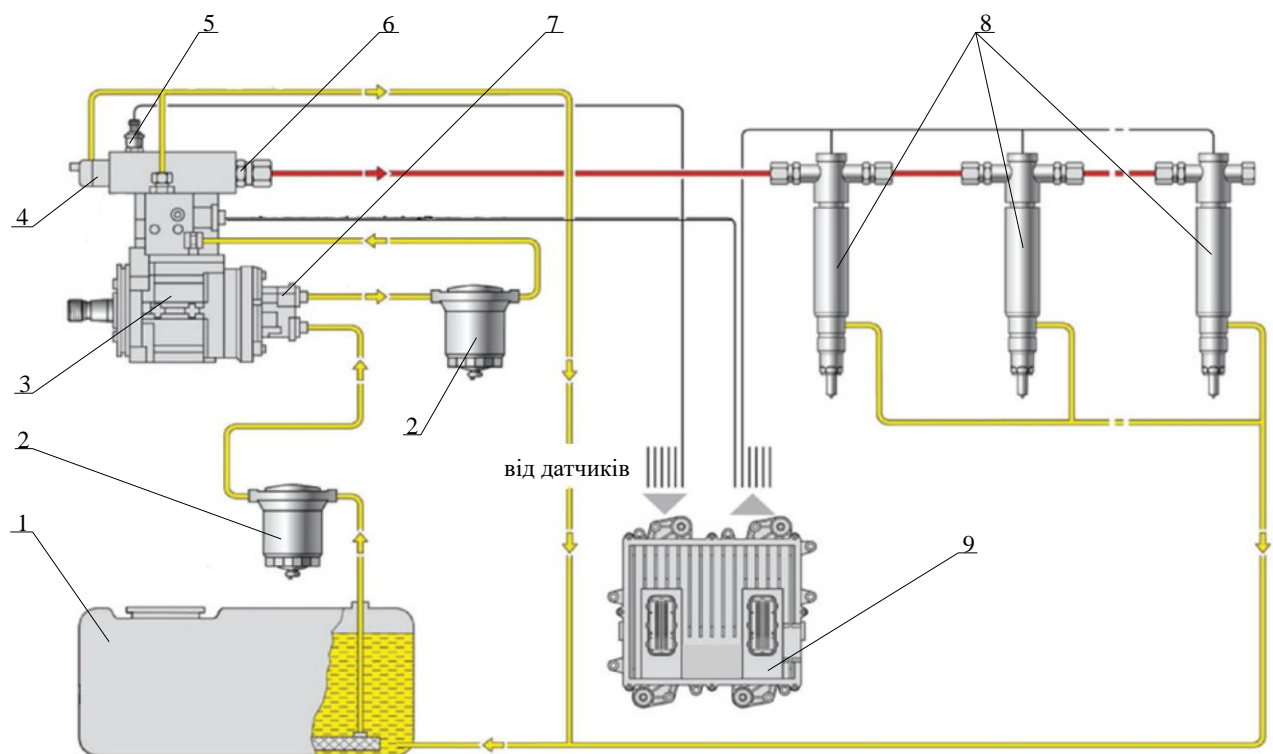


Рисунок 2. Система CRS2.2 з електронним блоком керування подачі палива "Bosch", що встановлена на ДГ контейнеровоза "Саре Akritis"

- 1 – цистерна витратна; 2 – фільтр масла; 3 – паливний насос високого тиску та акумулятор палива; 4 – клапан перепускний; 5 – датчик вимірювання тиску; 6 – клапан дозуючий, впускний; 7 – насос живильний; 8 – форсунка паливна; 9 – блок керування подачі палива "Bosch"

На рис. 3 представлена блок-схема розрахунку зменшення концентрації токсичних речовин у відхідних газах ДГ.

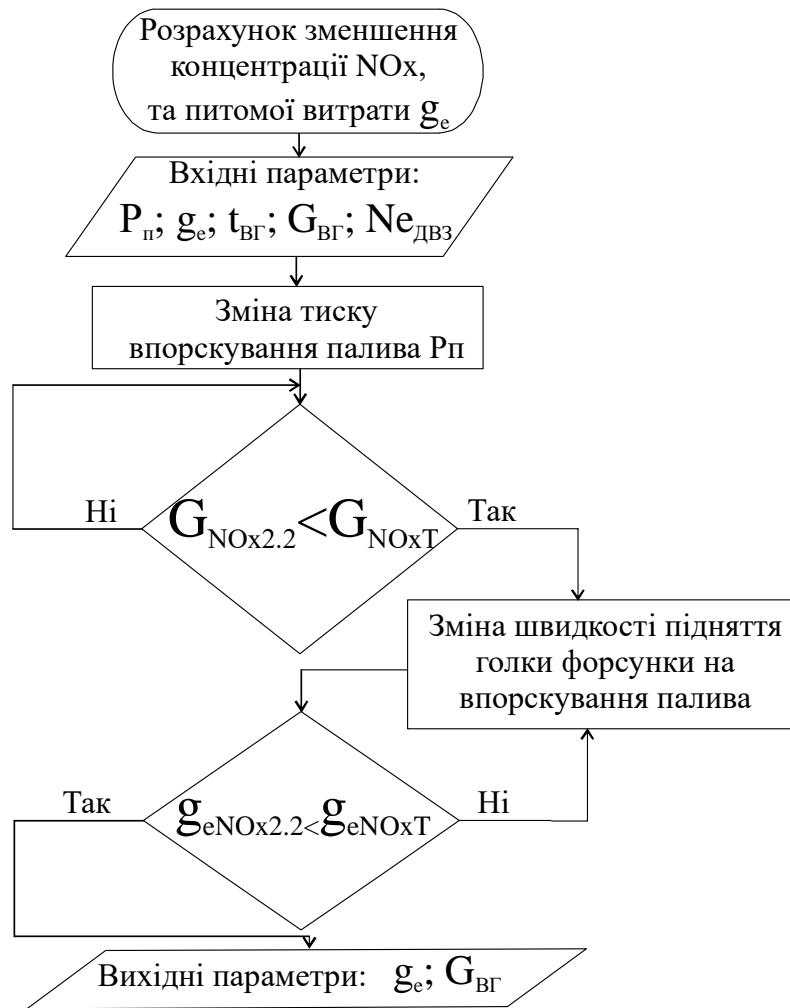


Рисунок 3. Блок-схема розрахунку зменшення концентрації токсичних речовин у відхідних газах ДГ

При розрахунках залежності впливу тиску впорскування палива в ДГ з використанням системи CRS2.2 повинні виконуватися такі умови.

Умова 1: Зменшення викидів NOx у відхідних газах ДГ 8Н32/40 при навантаженні 60 %, тобто, г/(кВт·год),

$$G_{NOx2.2} < G_{NOxT},$$

Умова 2: Зменшення питомої витрати палива ДГ 8Н32/40 при навантаженні 60 %, тобто, кг/(кВт·год),

$$g_{eNOx2.2} < g_{eNOxT}.$$

Абсолютна похибка при співставленні розрахункових значень зменшення викидів NOx у відхідних газах ДГ та зменшення питомої витрати палива ДГ і

даних, одержаних за результатами моніторингу фірм-виробників 4-тактних ДВЗ з розподільчим валом, не перевищує 10 %:

$$\Delta x = x_{\text{нат}} - x_{\text{іст}},$$

де $x_{\text{нат}}$ – результат натурних випробувань;

$x_{\text{іст}}$ – умовно істинне дійсне значення.

4. Теоретичні наукові результати

Залежність впливу тиску впорскування палива з використанням системи CRS2.2 з одним акумулятором на дизель-генераторі 8Н32/40 фірми "Hyundai Himsen" представлені на рис. 4, з якого видно, що при використанні контрольованого тиску впорскування палива (суцільна лінія) вдається забезпечити подачу палива з максимальним тиском.

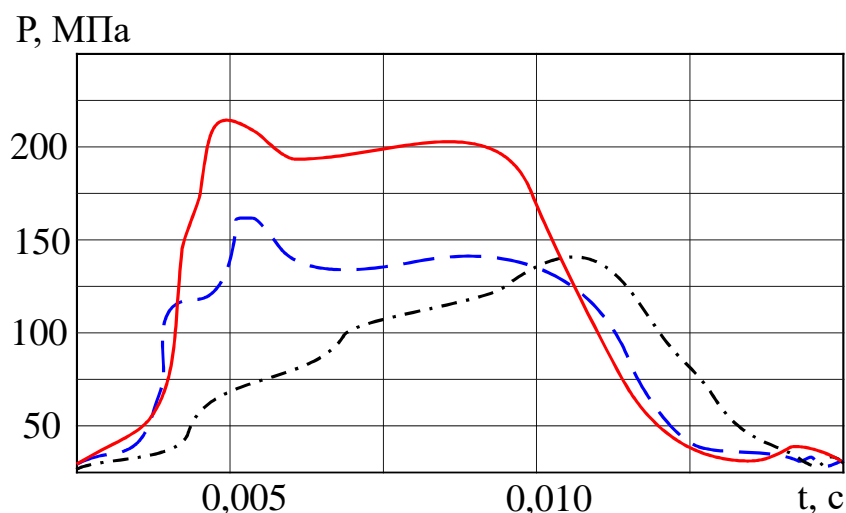


Рисунок 4. Вплив тиску впорскування палива з використанням системи

Common Rail на дизель-генераторі 8Н32/40 фірми "Hyundai Himsen"

_____ двигун 8Н32/40 фірми "Hyundai Himsen" з системою CR2.2

----- двигун 8Н32/40 фірми "Hyundai Himsen" з системою CR1.6;

- · - · - двигун 8Н32/40 фірми "Hyundai Himsen" з газорозподільним валом

На рис. 6. представлені результати впливу роботи системи CRS2.2 на швидкість та висоту підняття голки паливної форсунки, з якого видно, що при використанні CRS2.2 в порівнянні з системою CRS1.6 максимальне відкриття голки $l = 1,5 \dots 1,7$ мм досягається майже одразу, а закриття також різке і дозволяє зменшити витрату палива (рис. 5).

Також визначено (рис. 7) залежність тиску впорскування палива на швидкість часу максимального підняття голки форсунки, який зменшується із зростанням тиску впорскування палива.

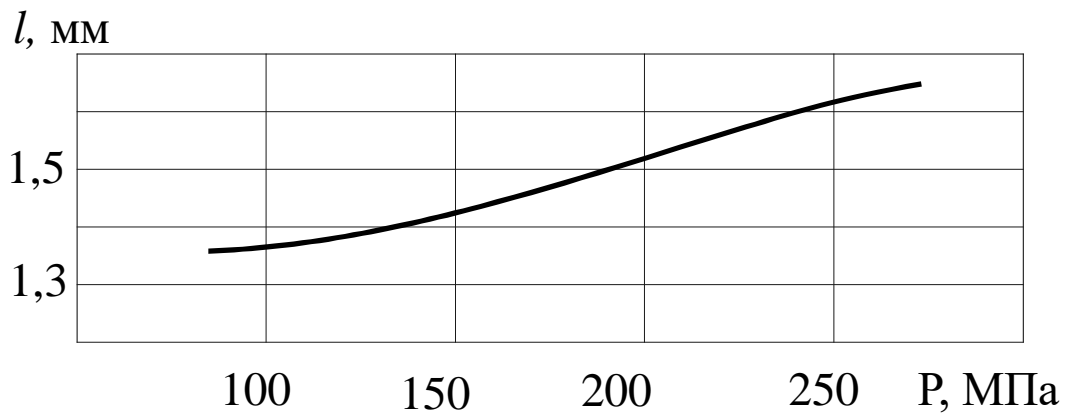


Рисунок 5. Залежність висоти підняття голки форсунки від тиску впорскування

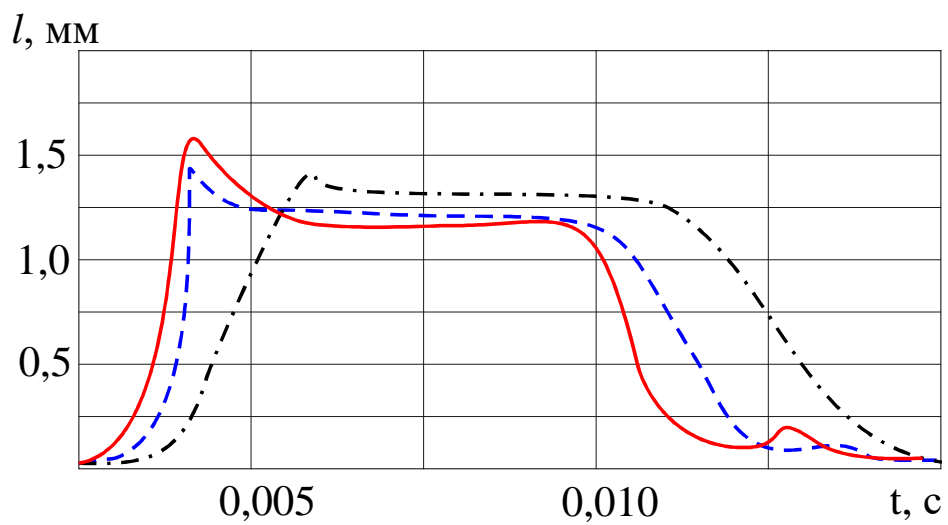


Рисунок 6. Зміни витрати палива при роботі системи CRS2.2 на швидкість та висоту підняття голки паливної форсунки
Позначення такі ж, як і на рис. 4

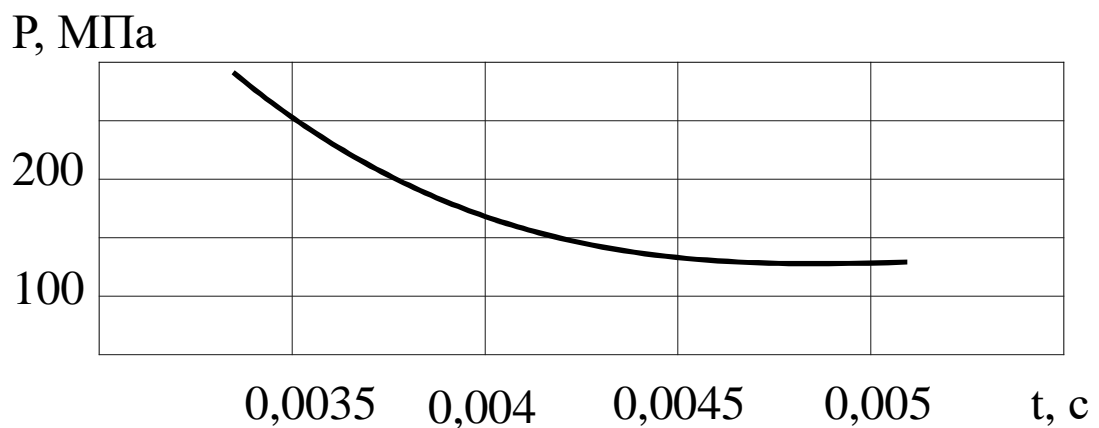


Рисунок 7. Залежність тиску впорскування палива від часу максимального підняття голки форсунки

З рис. 8 і 9 видно, що при регулюванні відкриття голки паливної форсунки на завантаженні дизель-генератора 8Н32/40 фірми "Hyundai Himsen" з системою Common Rail до 50...75 % призводить до зменшення витрати палива на 4,0...4,6 %.

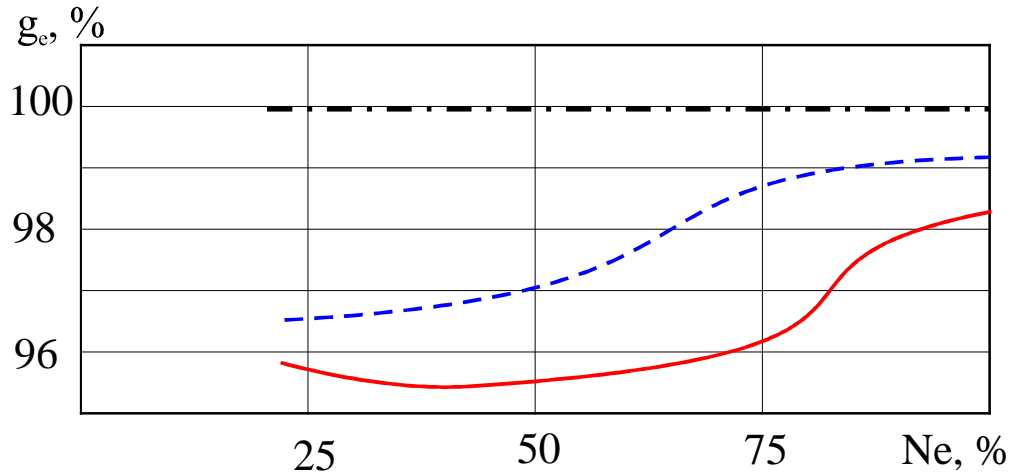


Рисунок 8. Вплив витрати палива дизель-генератора 8Н32/40 фірми "Hyundai Himsen" при керуванні швидкості та висоти підняття голки паливної форсунки системи CRS2.2

Позначення такі ж, як і на рис. 4

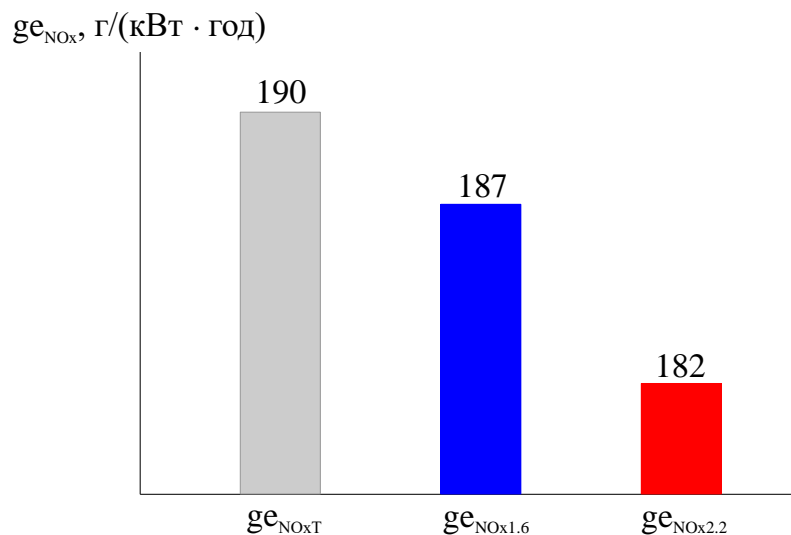


Рисунок 9. Вплив витрати палива дизель-генератора марки 8Н32/40 фірми "Hyundai Himsen" при навантаженні 60 % від керування швидкістю та висотою підняття голки паливної форсунки системи CRS2.2

Позначення такі ж, як і на рис. 4

Також, використання контрольованого тиску впорскування палива з максимальним тиском дозволяє зменшити утворення токсичних речовин у відхідних газах ДВЗ на 9...12 % та димності на 8...10 % при завантаженні дизель-генератора на 50...75 % в порівнянні з використанням системи CRS1.6 (рис. 10, рис. 11 та рис. 12).

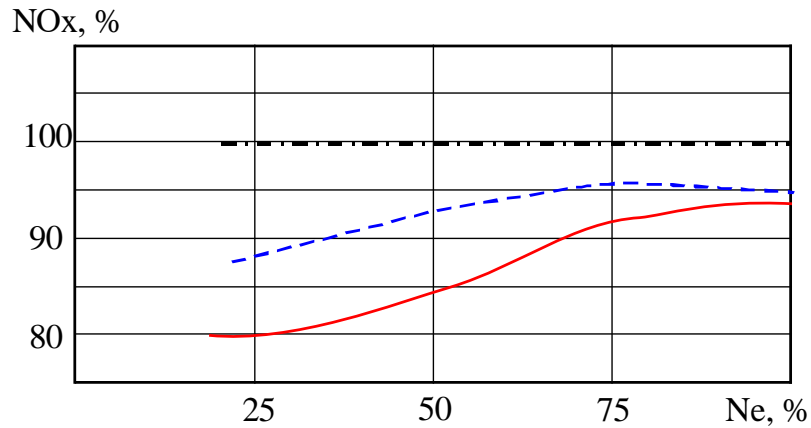


Рисунок 10. Зміни утворення токсичних речовин NOx у відхідних газах дизель-генератора 8Н32/40 фірми "Hyundai Himsen" від тиску впорскування палива

Позначення такі ж, як і на рис. 4

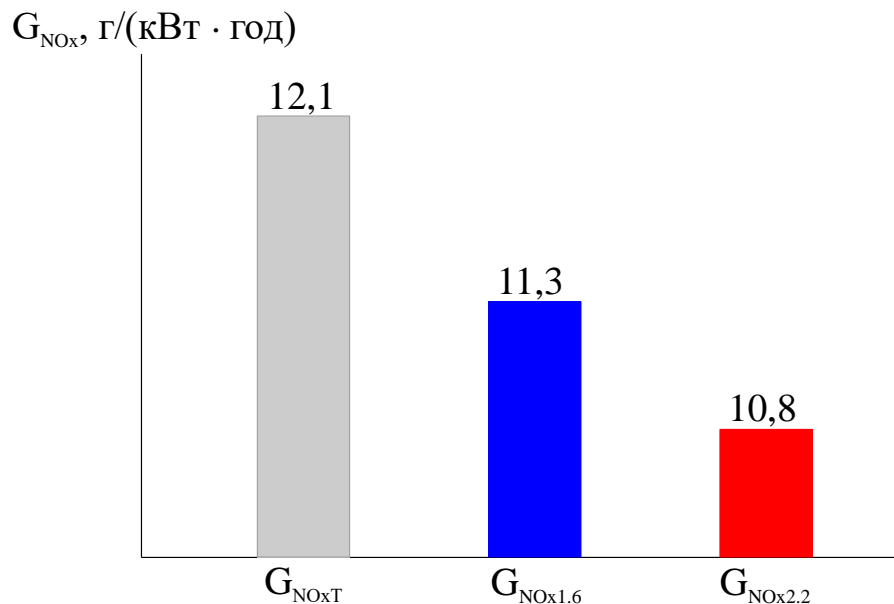


Рисунок 11. Зміни утворення токсичних речовин NOx у відхідних газах дизель-генератора 8Н32/40 фірми "Hyundai Himsen" при навантаженні 60 % від тиску

впорскування палива

Позначення такі ж, як і на рис. 4

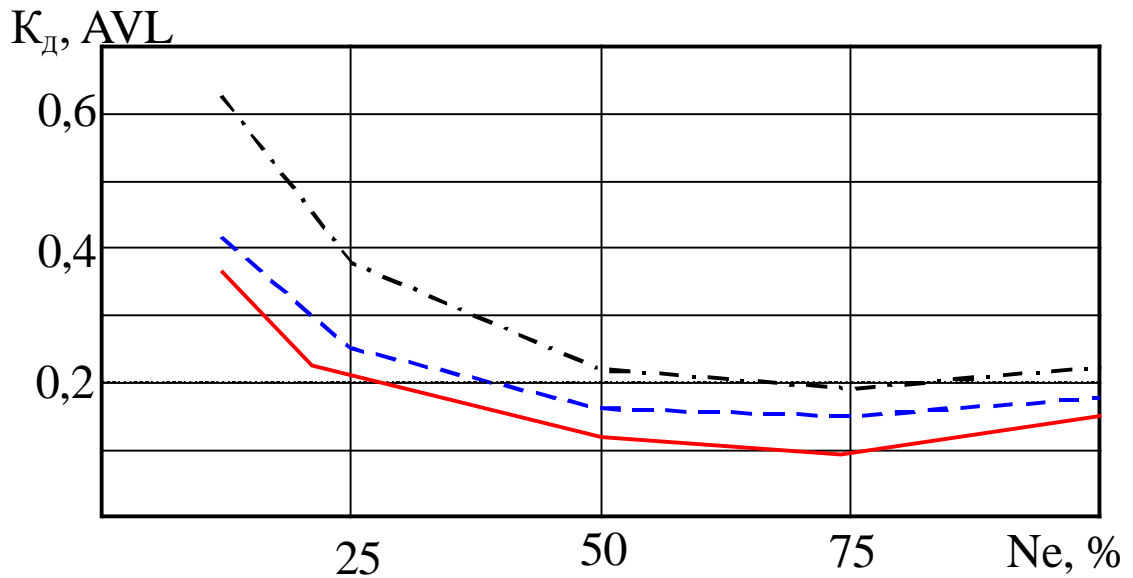


Рисунок 12. Зміни утворення димності у відхідних газах дизель-генератора 8N32/40 фірми "Hyundai Himsen" від тиску впорскування палива
Позначення такі ж, як і на рис. 4

Незважаючи на наявність досить великої кількості недоліків системи CRS2.2, інтелектуальні акумуляторні системи знаходять все більш широке застосування в суднових дизельних енергетичних установках, забезпечуючи можливість досягнення постійно зростаючих вимог до економічності і екологічної безпеки.

Враховуючи сучасний розвиток різноманітних конструкцій електронної системи "Common Rail", які впроваджуються на сучасних суднових ДВЗ дозволяють двигунобудівним компаніям знизити токсичні викиди з вихлопними газами двигунів, що виробляється.

ВИСНОВКИ

Знайдені резерви для підвищення паливної ефективності дизель-генераторів контейнеровоза при використанні системи CR з електронним керуванням робочого процесу.

Зміни тиску впорскування палива від 160 до 220 МПа з використанням системи CR з електронним керуванням робочого процесу зменшує концентрацію токсичних речовин NOx на 9...12 % та димність на 8...10% у відхідних газах дизель-генератора при навантаженні на 50...75 %.

Також зміни тиску впорскування палива від 160 до 220 МПа з використанням системи CR з електронним керуванням робочого процесу призводять до скорочення споживання палива дизель-генератора контейнеровоза на 4,0...4,6 % при навантаженні дизель-генератора на 50...75 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Половинка, Э.М.* Развитие систем топливоподачи современных дизелей / *Э.М. Половинка, Ю.А. Карпилов* // Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 31. – Одеса: ОНМА – 2013. – С. 133-144.
2. *Медников, А.* Управляем энергоэффективностью / *А. Медников, А. Савранский* // Морской флот. — 2013. — № 3. — С. 60–61.
3. *Кардаш, В.П.* Повышение эффективности эксплуатации судовых устройств / *В.П. Кардаш, С.А. Ханмамедов* // Судовые энергетические установки: науч. техн. сб. – Одесса: ОНМА.– 2007. Вып. 18 – С.70–77.
4. *Rehbichler G.* The Bosch Electronic Diesel Control System for Medium and High Speed Engines. [Электронный ресурс]. / *G. Rehbichler, C. Kendlbacher, M. Bernhaupt.* – Режим доступа: http://www.shipandoffshore.net/fileadmin/user_upload/pdf/CIMAC2013.pdf.
5. Common Rail Design & Field Experience / MAN Diesel & Turbo, August 2015. – 21 p. pdf. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mandieselturbo.com>.
6. *Ерофеев, В.Л.* Пределы повышения энергетической эффективности топливоиспользования поршневого ДВС / *В.Л. Ерофеев, Н.Б. Ганин, А.С. Пряхин* // Двигателестроение. — 2015. — № 2. — С. 33–38.
7. *Гацуц, А.Г.* Совершенствование технической эксплуатации судовых энергетических установок / *А.Г. Гацуц* // Двигатели внутреннего сгорания. — 2011. — № 2. — С. 137–141.
8. Caterpillar Common Rail. Catalog. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pdf.nauticexpo.com/pdf/caterpillar-marine-power-systems/caterpillar-common-rail/19997-40609.html>
9. *Vogt E.* Economical and technical aspects of DUAP's fuel Injection parts and systems. [Электронный ресурс] / *E. Vogt, S. Jung, M. Poletti.* — Режим доступа: <http://www.duap.ch/wpcontent/uploads/2013/07/paper131.pdf>.

10. *Калініченко, І.В.* Вплив вмісту сірки в паливі на робочий процес та технічний стан дизель-генератора / *І.В. Калініченко, В.О. Богачук* // Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2019. – С. 188–192.

11. *Калініченко, І.В.* Контролювання параметрів електронної системи керування подачі палива для зменшення токсичних викидів відхідних газів ДВЗ / *І.В. Калініченко, І.М. Бірюков, С.І. Шмаков, М.С. Терещенко* // Сучасний стан та проблеми двигунобудування Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 150-літтю від дня народження Некрасова Івана Степановича. – Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2020. – С. 137–143.

12. *Андреев, А.А.* Анализ необходимой электрической мощности судовой электростанции морских грузовых судов / *А.А. Андреев, Е.В. Коломойченко* // Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, науковців та фахівців. – Миколаїв: НУК, 2011. – С.70-71.

13. Cape Akritas: 11000 TEU Containership / Significant Ships of 2016. – London: The Royal Institution of Naval Architects. – 2017. – p. 16-17.

14. Marine Engine IMO Tier II and Tier III Programme 2016 / MAN Diesel & Turbo, August 2016. – 212 p. pdf. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mandieselturbo.com>.

15. HiMSEN Engine H32/40 Marine & Stationary applications / Hyundai Engine & Machinery Heavy Industries Co., LTD. – 2017 – 12 p.

16. *Андреев, А.А.* Оценка мощности и состава судовой электростанции контейнеровозов на основе статистических данных / *А.А. Андреев, С.И. Стародубец* // Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 75-річчю кафедри ССЕУ. Ч. 1. – Миколаїв: НУК, 2015. – С.183-185.

ДОДАТКИ